

## **SISTEMA DE ALARMA DE CONGELACIÓN EN TUBERÍAS DE AGUA**

<sup>1</sup>Carlos Morón Fernández; <sup>1</sup>Alfonso García García; <sup>2</sup>Jesús Pastrana Sáenz-López

<sup>1</sup>*Dpto. de Tecnología de la Edificación. E.U. Arquitectura Técnica.*

<sup>2</sup>*Alumno del Máster Universitario en “Innovación Tecnológica en la Edificación”.  
E.U. Arquitectura Técnica.*

**Palabras Clave:** *Sensor, Domótica, Tuberías, Alarma.*

### **Resumen**

*En este trabajo se presenta un novedoso sensor capaz de detectar la congelación del agua en las conducciones, con capacidad de generar alarmas y enviar estas a centralitas de sistemas domóticos. Esto podría permitir solventar un problema común en las tuberías de agua: las congelaciones del fluido en invierno. Como consecuencia de esta evitación, se mejoraría tanto la calidad del suministro, evitando los cortes de suministro, como los costes de mantenimiento, al evitar el deterioro o la rotura de los conductos.*

*Al congelarse el agua, aumenta su volumen a un 120%, incrementando a su vez la presión interna en los conductos, lo que en muchos casos desemboca en destrucción parcial o total de la instalación.*

*El sensor desarrollado, así como el sistema de protección futuro, están enfocados principalmente para edificación. Pero, al tratar un problema tan generalizado y ofrecer importante información de un modo simple y eficaz, también tiene aplicación en procesos industriales, así como en los productos y maquinaria industrial.*

### **Introducción**

En la actualidad, la ciencia y la industria actual han alcanzado un nivel tecnológico muy elevado. Ejemplo de ello son las líneas de producción en masa completamente automatizadas para satisfacer las diversas necesidades humanas. Los avances tecnológicos realizados en todo tipo de campos han permitido a la humanidad llegar al punto de desarrollo que hoy conocemos. Estos y otros avances (como por ejemplo, el campo de la robótica) han sido posibles gracias, entre otras cosas, al desarrollo de los dispositivos sensores.

Los sensores, son los dispositivos que permiten “sentir” a las máquinas. En un sentido más técnico, son los elementos que se emplean para medir las diferentes variables que una máquina o sistema debe controlar para el correcto funcionamiento dentro de un determinado proceso. La sociedad actual demanda, cada vez más, todo tipo de máquinas para evitar al ser humano las tareas tediosas, así como mejorar sustancialmente su calidad de vida. El número de campos de desarrollo se amplía constantemente y de forma exponencial, generando un incremento de las variables a medir.

Cada vez más, la domótica y la inmoótica se están introduciendo en el mundo de la edificación, por ello la demanda de sensores específicos para medir

parámetros asociados al confort, a la eficiencia energética y a alarmas técnicas asociadas a las viviendas y edificios es cada vez mayor.

Una de las alarmas técnicas asociadas al mundo de la edificación no resuelta hasta este momento es la asociada a la congelación de las tuberías de suministro de agua, o más específicamente a la congelación del agua de las tuberías de suministro de agua potable o de agua sanitaria.

La congelación del agua de las tuberías en invierno conlleva una pérdida de la calidad del suministro. Ya que se producen, en el mejor de los casos, cortes de suministro y en el peor de los casos pueden llegarse a producir el deterioro o la rotura de los conductos, ya que el agua al congelarse aumenta su volumen un 20%, incrementando a su vez la presión interna en los conductos. De una u otra forma, esto se refleja en un aumento de los costes de mantenimiento de estas instalaciones y una pérdida en la continuidad del suministro con la consiguiente pérdida de confort por los usuarios.

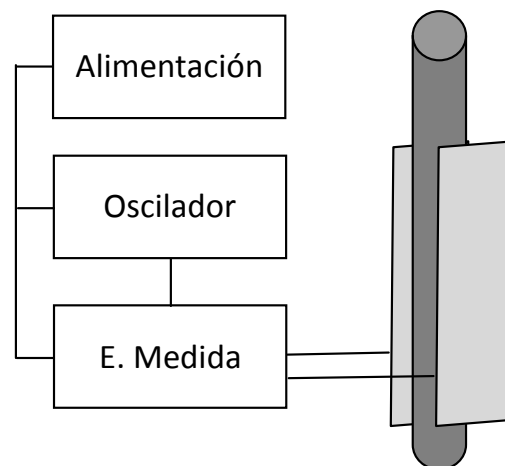
Actualmente, la solución tipo a este problema es la colocación de vasos de expansión en los conductos, que disponen de un volumen proporcional complementario, el cual se rellena cuando aumenta el volumen del agua. Este es un sistema pasivo, es decir, permite la congelación del fluido y posteriormente actúa. Esto influye notablemente en la calidad del suministro de agua en los puntos de consumo. También tiene una importante repercusión en el suministro y la calidad del agua caliente, ya que además de los problemas de fluidez, se producen importantes dificultades para alcanzar, mediante los sistemas de calentamiento previstos, la temperatura adecuada. Este problema en particular, conlleva un elevado riesgo de aparición de bacterias de legionela en el agua, afectando directamente a la salud del consumidor. Esta misma situación se produce con otros mecanismos de calentamiento de agua, como pueden ser las placas solares, etc.

El presente trabajo presenta el diseño y construcción de un sensor que detecta, mediante un sistema no intrusivo, cambios de estado en el agua de los conductos de abastecimiento de agua. El sensor está clasificado dentro de la categoría de los sensores capacitivos. El sensor también se puede clasificar como discreto, ya que no realiza un seguimiento constante de la temperatura del agua, sino que sólo genera dos señales: 1. fluido congelado; 2. fluido no congelado.

### **El sensor**

El sensor desarrollado es capacitivo, la cabeza sensora está constituida por un condensador. Las capacidad de este condensador cambia dependiendo de el estado del agua de la tubería, obteniendo una señal diferenciada para el agua en estado líquido y en estado sólido (hielo). El diagrama de bloques del sensor se muestra en la figura 1.

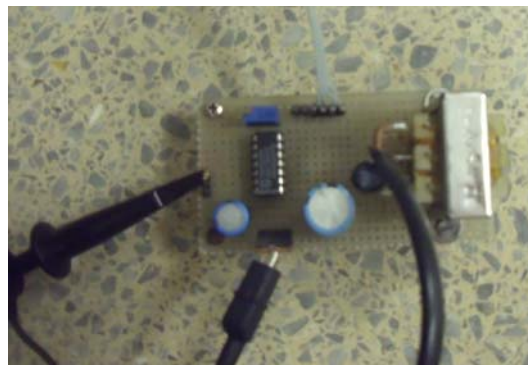
El sensor se ha construido utilizando



*Fig. 1: Diagrama de bloques del sensor.*

la técnica de wire wrapping. Esta técnica consiste en unir dos puntos con un hilo de cobre realizando el contacto eléctrico. Es un método de construir una placa de circuito sin necesidad de tener un circuito impreso realizado. Puede ser hecho a mano o mediante una máquina, y puede ser modificado manualmente después. El wire-wrap puede ser más fiable que los circuitos impresos, debido a que las conexiones son menos propensas a fallar debido a vibración o presión física en la placa, además de que la ausencia de soldadura impide que haya corrosión o juntas secas, etc. Las conexiones son más firmes y tienen menor resistencia eléctrica debida a la unión sin un material como la soldadura.

En la figura 2 se muestra la electrónica completa del sensor.

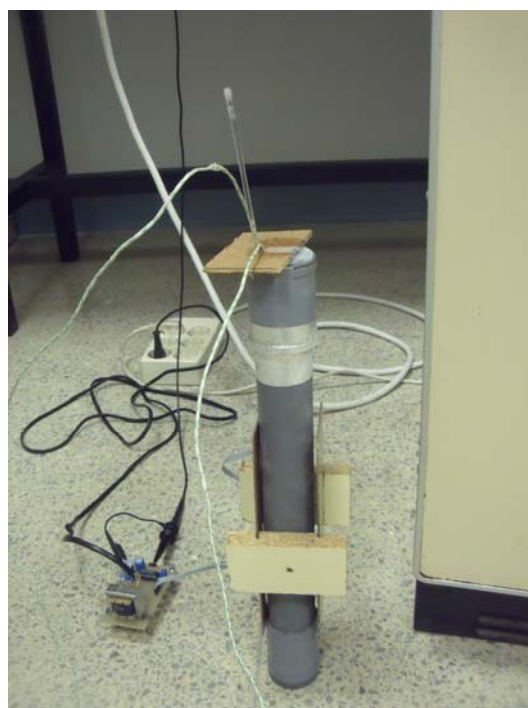


*Fig. 2: Fotografía del sensor.*

### **Dispositivo experimental**

Para la realización del proceso experimental que ha permitido confirmar la eficacia del sensor diseñado, se ha simulado una fracción de tubería de fontanería con un tubo de PVC de longitud aproximada de 40 cm y diámetro exterior 30 mm. En su interior se han dispuesto dos sondas de temperatura a  $\frac{1}{4}$  y  $\frac{3}{4}$  de la altura total del tubo, centrándolas a través de una guía, para mayor precisión en la medida.

En cuanto a la cabeza sensora, se han empleado dos placas de cobre de iguales dimensiones y geometría rectangular, dispuestas paralelamente entre sí y empleando como soporte piezas prismáticas de madera aglomerada (aislante). En la figura 3 se puede ver la disposición del dispositivo experimental completo.



*Fig. 3: Fotografía del dispositivo experimental. Se puede observar la cabeza sensora alrededor del tubo.*

Los procesos de congelación se han realizado con un congelador de apoyo, introduciendo la tubería y las sondas en su interior. La toma de datos se ha realizado en cada grado de variación de temperatura, tomándose este valor como el promedio de la medida de las dos sondas de temperatura  $((T1 + T2)/2)$ .

Se han realizado medidas durante el proceso de congelación y de descongelación del agua para observar si el comportamiento se puede diferenciar o la existencia de posibles histéresis en el sensor. El rango de

temperaturas medido ha sido entre  $-5^{\circ}\text{C}$  y la temperatura ambiente de  $25^{\circ}\text{C}$ . Se han realizado diez medidas en el sensor para cada temperatura, de esta manera se ha podido tratar las medidas de forma estadística, obteniéndose como medida el valor más probable y como error la dispersión cuadrática media.

## Resultados

A continuación se muestran los resultados obtenidos midiendo simultáneamente la temperatura promedio del agua y la respuesta del sensor.

**Ciclo CONGELACIÓN:** En la figura 4 se muestran las diez respuestas del sensor para cada temperatura. Se puede observar que, a pesar de la dispersión, el punto de cambio de fase está claramente diferenciado incluso sin realizar tratamiento estadístico de las medidas.

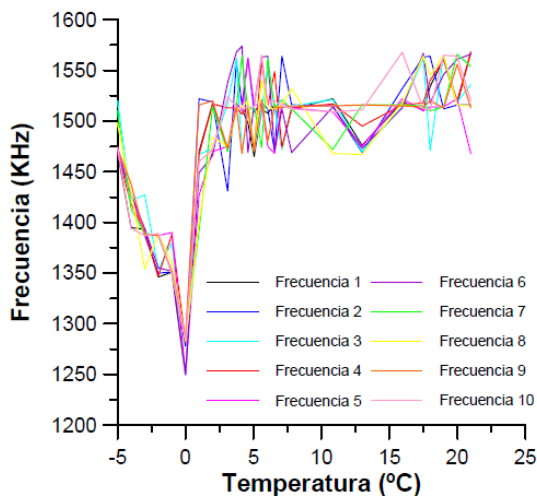


Fig. 5: DESCONGELACIÓN. Las diez respuestas medidas con el sensor para cada temperatura.

respuesta normal. En el caso de la descongelación, el descenso es incluso hasta más pronunciado que en la congelación, llegando a ser de un 17%.

En la figura 6 se muestran las respuestas del sensor en el ciclo de congelación y de descongelación con las medidas tratadas. Se ha determinado el error cuadrático medio de cada una de las medidas, siendo

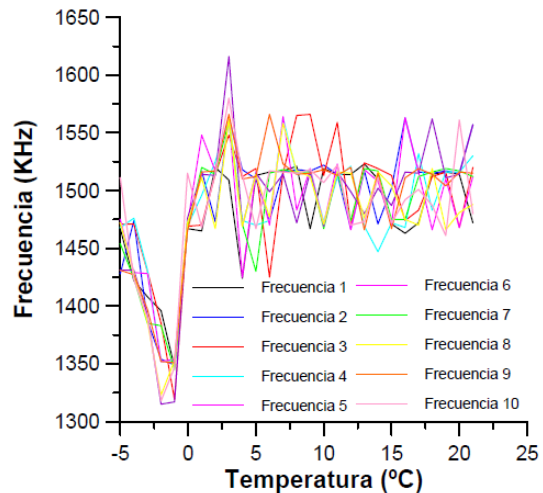


Fig. 4: CONGELACIÓN. Las diez respuestas medidas con el sensor para cada temperatura.

**Ciclo DESCONGELACIÓN:** En la figura 5 se muestran nuevamente las diez respuestas del sensor para cada temperatura. La diferenciación del cambio de fase es similar que en congelación.

Se observa claramente que, en ambos casos, la respuesta desciende a valores un 10% inferior a la

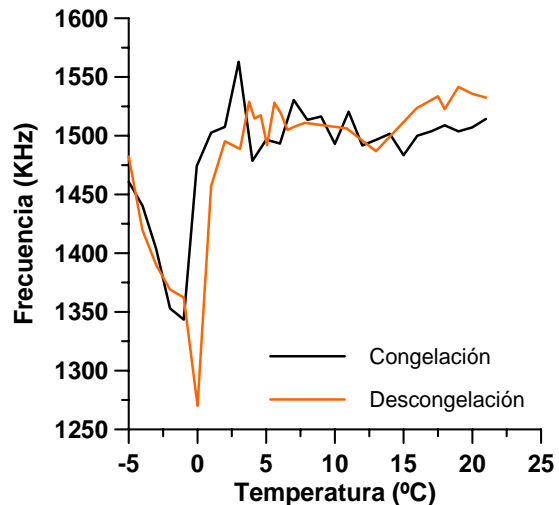


Fig. 6: DESCONGELACIÓN. Las diez respuestas medidas con el sensor para cada temperatura.

su promedio en todo el ciclo de un 2%. Se observa una pequeña histéresis, debida en nuestra opinión más a la medida de la temperatura con los termopares que a la propia respuesta del sensor.

En la Tabla 1 se muestran los valores de las respuestas obtenidos para las diferentes temperaturas tratadas estadísticamente junto con la dispersión cuadrática media para cada medida, en el ciclo de congelación del agua contenido en la tubería. En la Tabla 1 se muestran los valores correspondientes a la descongelación. Como se puede observar, el sensor muestra las mismas lecturas aproximadamente en ambos ciclos.

**Tabla 1: Respuesta del sensor y dispersión cuadrática media. Ciclo de congelación.**

**Tabla 2: Respuesta del sensor y dispersión cuadrática media. Ciclo de descongelación.**

Temp. °C	Respuesta (kHz)	Dispersión (kHz)	Dispersión (%)	Temp. °C	Respuesta (kHz)	Dispersión (kHz)	Dispersión (%)
21	1514,3	29,0	1,92%	-5,0	1482,2	19,5	1,32%
20	1507,0	28,0	1,86%	-4,0	1419,5	14,9	1,05%
19	1503,6	21,6	1,44%	-3,0	1389,9	17,4	1,25%
18	1508,8	26,0	1,72%	-2,0	1369,1	19,9	1,45%
17	1503,6	21,4	1,42%	-1,0	1362,2	16,9	1,24%
16	1500,0	37,6	2,50%	0,0	1270,1	17,7	1,39%
15	1483,3	17,0	1,14%	1,0	1457,2	42,6	2,92%
14	1501,6	23,7	1,58%	2,0	1495,2	23,9	1,60%
13	1496,5	25,3	1,69%	3,1	1488,7	32,8	2,20%
12	1491,6	24,2	1,62%	3,8	1528,9	23,7	1,55%
11	1520,4	14,1	0,93%	4,2	1514,6	33,9	2,24%
10	1493,0	24,4	1,63%	4,6	1517,4	27,6	1,82%
9	1516,4	23,4	1,54%	5,1	1491,9	23,4	1,57%
8	1513,5	24,5	1,62%	5,6	1528,1	28,8	1,89%
7	1530,4	21,8	1,42%	6,1	1519,5	30,6	2,02%
6	1493,3	38,1	2,55%	6,6	1504,8	26,5	1,76%
5	1496,6	30,2	2,02%	7,1	1507,8	28,4	1,88%
4	1478,5	34,9	2,36%	7,8	1510,9	15,9	1,05%
3	1563,0	26,4	1,69%	10,9	1506,2	19,6	1,30%
2	1507,5	20,1	1,33%	13,0	1486,8	20,5	1,38%
1	1502,5	27,2	1,81%	16,0	1523,3	16,6	1,09%
0	1474,1	14,7	1,00%	17,5	1533,6	26,3	1,71%
-1	1343,4	13,7	1,02%	18,0	1522,7	25,2	1,65%
-2	1353,0	28,6	2,11%	19,0	1541,6	25,0	1,62%
-3	1403,4	19,3	1,38%	20,0	1535,7	22,6	1,47%
-4	1440,5	23,1	1,60%	21,0	1532,4	32,3	2,11%
-5	1460,8	25,7	1,76%				

## **Conclusiones**

Se ha construido un sensor no intrusivo capaz de detectar congelación para tuberías de conducción de agua. El sensor se ha diseñado y construido en los laboratorios de la EUATM en el contexto del desarrollo de un Trabajo Fin de Máster.

Se ha comprobado experimentalmente la viabilidad de este sensor para la detección de congelación del agua contenida en una tubería de forma no intrusiva. Se ha realizado un proceso de ensayos para su verificación, simulando una tubería de fontanería (empleando los materiales y diámetros correspondientes a una instalación) y sometiéndola a procesos de congelación/descongelación.

El sensor desarrollado podría tener aplicación tanto para edificación residencial, no residencial y procesos industriales de cualquier índole, que requieran para sus procesos un suministro de agua y control sobre el estado de esta dentro de las tuberías de suministro.

## **REFERENCIAS**

- [1] Ramón Pallás, Sensores y acondicionadores de señal. ISBN: 8426713440.
- [2] Harry N. Norton, Sensores y analizadores.
- [3] Paul Lorrain, Campos y ondas electromagnéticos. ISBN: 8485021290.
- [4] John S. Wilson, Sensor technology handbook. ISBN: 9780750677295.
- [5] C. Morón, A. García, Sensores y Actuadores. ISBN: 84-96737-53-2.
- [6] C. Morón, A. García, Laboratorio de Sensores y Actuadores. ISBN: 84-96737-50-1.